

# Akustyczna specyfika stalowych mostów kolejowych

## The acoustic specificity of steel railway bridges



**Lucjan Janas**

Dr inż.

Politechnika Rzeszowska,  
Wydział Budownictwa, Inżynierii  
Środowiska i Architektury

ljanas@prz.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań hałasu w otoczeniu czterech stalowych mostów kolejowych. Jeden z obiektów ma tor mocowany bezpośrednio do stalowej płyty pomostu, kolejny posiada pomost w postaci rusztu otwartego. Pozostałe dwa obiekty mają tor ułożony na podsypce i różny rodzaj konstrukcji dźwigarów. Przeanalizowano wpływ badanych mostów na klimat akustyczny wokół linii kolejowych. Podano ogólne zalecenia do projektowania cichych mostów.

**Słowa kluczowe:** Hałas; Mosty stalowe; Kolej

**Abstract:** In the paper, the acoustic effects in the vicinity of four railway bridges have been studied. One of the objects has a track fastened directly to the steel deck plate, another has a deck in the form of an open grillage. The other two objects have a track situated on the ballast and various types of girders. The influence of the bridge on the level of acoustic pressure in the neighborhood of railway roads has been analyzed. General recommendations for the design of silent bridges were discussed.

**Keywords:** Noise; Steel bridges; Railway

Pojazdy szynowe przejeżdżające przez mosty, wiadukty lub estakady mogą oddziaływać na środowisko w znacznie większym stopniu niż pojazdy przejeżdżając po torze bez tego typu obiektów. Obiekty inżynierskie mogą przyczynić się do zwiększenia poziomu hałasu a stopień zwiększenia zależy przede wszystkim od rodzaju konstrukcji.

Zagrożenie dla środowiska mogą stanowić obiekty stalowe zbudowane kilkanaście czy kilkadziesiąt lat temu ale również współczesne, zaprojektowane w ostatnich latach [6, 8, 10]. Mosty z betonu sprężonego czy zespolone stalowo-betonowe na ogół powodują zdecydowanie mniej problemów akustycznych ale problemów takich nie można wykluczyć [5, 7]. Problem hałasu mostów występuje również na liniach dużej prędkości [8].

Na problem hałasu mostów kolejowych zwraca uwagę Eurokod 3 [9]. W normie tej, w rozdziale dotyczącym stanów granicznych użyteczności,

w postanowieniach ogólnych zapisano, że należy ograniczać częstotliwości drgań własnych konstrukcji m.in. po to, aby ograniczyć uszkodzenia zmęczeniowe i nadmierną emisję hałasu. W pkt. 7.7 dotyczącym kryteriów użytkowania mostów kolejowych zapisano, że wszelkie wymagania dotyczące emisji hałasu można podać w ustaleniach projektowych.

Problem hałasu mostów kolejowych został także poruszony w dokumencie Międzynarodowego Związku Kolei *UIC 717 Recommendations for the design of bridges to satisfy track requirements and reduce noise emissions* [11], gdzie przedstawiono ogólne zalecenia do projektowania konstrukcji, które charakteryzują się małą emisją hałasu.

W niniejszym artykule omówiono wyniki badań własnych w otoczeniu czterech stalowych mostów kolejowych o różnych rodzajach konstrukcji dźwigarów i pomostu. Jeden z obiektów ma tor mocowany bezpośrednio do stalowej płyty pomostu, kolejny po-

siada pomost w postaci rusztu otwartego. Pozostałe dwa obiekty mają tor ułożony na podsypce i różny rodzaj konstrukcji dźwigarów.

### Sposób prowadzenia badań

W celu ustalenia wpływu obiektów mostowych na hałas prowadzono jednoczesne pomiary w odległości 7.5 m od osi toru na moście i w takiej samej odległości od toru na odcinku linii poza mostem (zwykle 50 do 75 m przed lub za mostem). W obu przypadkach mikrofony znajdowały się 1.5 m nad poziomem główki szyny. Dodatkowo, w tym samym czasie mierzono hałas pod mostem, 1.5 m nad poziomem terenu.

W artykule porównano poziomy dźwięku  $A$ , czyli poziomy ciśnienia akustycznego skorygowanego wg charakterystyki częstotliwościowej zgodnej z krzywą korekcyjną  $A$ :

$$L_A = 10 \log(p_A^2/p_0^2)$$



1. Wiadukt blachownicowy z pomostem stalowym bez podsypki



2. Wiadukt blachownicowy z pomostem otwartym - rusztem podłużnicowo -poprzecznicyowym

gdzie:  $p_A$  - wartość skuteczna ciśnienia akustycznego [Pa],  $p_0$  - ciśnienie progowe odniesienia, równe 2·10<sup>-5</sup> [Pa]

Do badań stosowano zestaw mikrofonów firmy Bruel&Kjaer, oraz oprogramowanie Pulse Reflex. Zjawiska akustyczne rejestrowano w czasie przejazdów pociągów osobowych, w tym dalekobieżnych, regionalnych i szynobusów oraz pociągów towarowych. Pomiary prowadzono w temperaturze 15 – 25 °C, przy wilgotności powietrza 50 – 70 % i prędkości wiatru nie przekraczającej 5 m/s. Na mikrofonach znajdowały się osłony przeciwwietrzne. Przed rozpoczęciem badań sprawdzano tory pomiarowe wzorcowym źródłem dźwięku.

## Rodzaj konstrukcji mostu a poziom dźwięku

### Wiadukt z pomostem w postaci płyty stalowej bez podsypki

Jednym z analizowanych obiektów był 4-przęsłowy stalowy wiadukt o długości 84.4 m i schemacie statycznym belki ciągłej (rys. 1). Dźwigary główne wiaduktu to dwie blachownice o wysokości środka 1.38 m w rozstawie 4.4 m. Pomost wiaduktu został wykonany z blachy stalowej wzmocnionej

poprzecznkami i podłużnicami. Szyny były mocowane bezpośrednio do konstrukcji stalowej. Na zewnątrz dźwigarów zaprojektowano chodniki służbowe, również z blach stalowych. Obiekt został usytuowany w łuku poziomym o małym promieniu równym 250 m. Tor na obiekcie i poza nim był bezстыkowy. Oględziny obiektu wykazały jego niezadowalający stan. Głównym problemem był brak wibroizolacji między szynami a pomostem (uległa całkowitemu uszkodzeniu) oraz nieprawidłowa krzywizna toru. Obok wiaduktu, w odległości ok. 25 m znajdował się wielorodzinny budynek mieszkalny, którego mieszkańcy skarżyli się nadmierny hałas.

Obiekt był przeznaczony tylko dla ruchu pociągów towarowych i niepożądane dźwięki powstawały mimo niewielkiej, dopuszczalnej prędkości przejazdu tj. 30 km/h. Poziomy dźwięku zarejestrowane w czasie trzech przejazdów przedstawiono w tab. 1.

Hałas obok wiaduktu sięgał niemal 89 dB(A) i był większy o ponad 15 dB od hałasu występującego obok toru poza wiaduktem. Hałas pod wiaduktem był większy nawet o ok. 18 dB od hałasu obok toru.

Przyczyną dużego wzrostu hałasu obok wiaduktu były nadmierne drgania blach konstrukcji (płyty pomostu,

chodników, dźwigarów) powodujące emisję dźwięków głównie w zakresie niskich częstotliwości - szczegółowo zagadnienie to omówiono pracy [3]. Duży wpływ na poziomy hałasu obok toru miały dźwięki powstające na styku kół z szynami i głośna praca złącz wagonów wynikająca z ruchu po łuku o małym promieniu.

### Most blachownicowy z pomostem otwartym

Kolejnym analizowanym obiektem jest jednoprzęsłowy most blachownicowy, swobodnie podparty, z rusztem poprzecznico-podłużnicowym, czyli tzw. pomostem otwartym (rys. 2). Rozpiętość przęsła wynosi 24.15 m. Szyny zostały zamocowane do drewnianych mostownic przez podkładki PM-60 i przekładki podszynowe typu PKW. Mostownice oparto na podłużnicach. Obiekt w czasie badań był w dobrym stanie technicznym.

Zjawiska akustyczne rejestrowano w czasie przejazdów pociągów osobowych i towarowych – wybrane wyniki wykonanych pomiarów zamieszczono w tab. 2.

Hałas obok mostu był większy o 3.3 do 10.1 dB od hałasu obok toru poza mostem. Hałas pod mostem był więk-



3. Most blachownicowy z pomostem stalowym i torem ułożonym na podsypce



4. Most kratownicowy z pomostem stalowym i torem ułożonym na podsypce

szy nawet o ponad 20 dB od hałasu obok toru. W kilku przypadkach hałas pod mostem przekraczał 100 dB. Główną przyczyną tak dużego hałasu jest rodzaj konstrukcji. Pomost otwarty nie stanowi bariery dla dźwięków powstających na styku kół z szynami. Dodatkowo drgania środników dźwigarów blachownicowych emitują dźwięki w zakresie niskich i średnich częstotliwości. Szczegółowo zagadnienia te omówiono w pracy [1].

Ze względu na prace modernizacyjne prowadzone w czasie badań na linii kolejowej w ciągu której znajdował się obiekt, nie było możliwości zarejestrowania emisji akustycznej w czasie przejazdów z prędkościami większymi niż 70 km/h. Należy się spodziewać, że tego typu konstrukcje, przy większych prędkościach, będą w jeszcze większym stopniu niekorzystnie oddziaływać na środowisko.

## Most blachownicowy z torem ułożym na podsypce

Przykładem często obecnie projektowanych obiektów jest most blachownicowy z pomostem stalowym ortotropowym i torem ułożym na podsypce (rys. 3). Rozpiętość przęsła badanego mostu wynosi 31.68 m, wysokość dźwigarów 2.47 m. Podsypka została ułożona w korycie balastowym wykonanym z uźebrowanej blachy. Obiekt był w bardzo dobrym stanie technicznym, został oddany do użytkowania kilka miesięcy przed wykonaniem badań.

W tab. 3 zestawiono wyniki pomiarów poziomu dźwięku, wykonanych w czasie przejazdów pociągów osobowych i towarowych. Hałas obok mostu nie różni się znacznie od hałasu obu toru poza mostem. W większości przypadków jest nawet nieco mniejszy, co wynika z tłumienia dźwięków powstałych na styku kół z szynami przez dźwigary blachownicowe.

Hałas pod mostem był większy o 4 do 7.8 dB od hałasu obok toru - przyczyną zwiększenia hałasu pod mostem były nadmierne drgania stalowej płyty pomostu.

Ponieważ analizowany obiekt znajdował się stosunkowo nisko nad terenem, dźwięki były tłumione przez

Tab. 1. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku w otoczeniu wiaduktu z pomostem stalowym bez podsypki

Lp.	Rodzaj pociągu	Prędkość [km/h]	Poziom dźwięku A w [dB]:			Różnica poziomów dźwięku w [dB]	
			obok toru (1)	obok wiaduktu (2)	pod wiaduktem (3)	(2) – (1)	(3) – (1)
1	towarowy	30	69.1	84.7	85.7	15.6	16.6
2	towarowy	20	72.7	88.4	88.9	15.7	16.2
3	towarowy	20	65.5	82.2	83.6	16.7	18.1

Tab. 2. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku w otoczeniu mostu blachownicowego z pomostem otwartym

Lp.	Rodzaj pociągu	Prędkość [km/h]	Poziom dźwięku A w [dB]:			Różnica poziomów dźwięku w [dB]	
			obok toru (1)	obok wiaduktu (2)	pod wiaduktem (3)	(2) – (1)	(3) – (1)
1	osobowy - zespół trakcyjny	50	80,3	83,8	96,2	3.5	15.9
2	osobowy - dalekobieżny	60	83,8	87,4	99,9	3.6	16.1
3	osobowy - szynobus	50	74,8	78,1	90,5	3.3	15.7
4	osobowy - dalekobieżny	70	84,7	89,2	102,0	4.5	17.3
5	osobowy - dalekobieżny	50	77,3	87,4	100,5	10.1	23.2
6	towarowy	50	84,3	88,9	100,7	4.6	16.4
7	towarowy	40	79,6	88,6	101,3	9.0	21.7

Tab. 3. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku w otoczeniu mostu blachownicowego z torem ułożym na podsypce

Lp.	Rodzaj pociągu	Prędkość [km/h]	Poziom dźwięku A w [dB]:			Różnica poziomów dźwięku w [dB]	
			obok toru (1)	obok wiaduktu (2)	pod wiaduktem (3)	(2) – (1)	(3) – (1)
1	osobowy - regionalny	80	76,9	75,9	84,7	-1.0	7.8
2	osobowy - dalekobieżny	60	80.8	76,7	85,6	-4.1	4.8
3	osobowy - szynobus	80	76,8	75,5	80,8	-1.3	4.0
4	towarowy	35	74,1	73,0	79,8	-1.1	5.7
5	towarowy	50	81,7	81,3	87,4	-0.4	5.7
6	towarowy	40	73,6	74,3	80,9	0.7	7.3

Tab. 4. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku w otoczeniu mostu kratownicowego z torem ułożym na podsypce

Lp.	Rodzaj pociągu	Prędkość [km/h]	Poziom dźwięku A w [dB]:			Różnica poziomów dźwięku w [dB]	
			obok toru (1)	obok wiaduktu (2)	pod wiaduktem (3)	(2) – (1)	(3) – (1)
1	osobowy - regionalny	60	78.0	77.8	82.3	-0.2	4.3
2	osobowy - dalekobieżny	45	80.8	81.2	84.3	0.4	3.5
3	osobowy - szynobus	60	73.4	73.7	81.0	0.3	7.6
4	towarowy	30	79.1	82.2	89.1	3.1	10
5	towarowy	30	78,2	79,0	84,1	0.8	5.9
6	towarowy	40	78.1	81.1	87.4	3.0	9.3

podłoże i nie rozprzestrzeniały się. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że tego typu konstrukcja zastosowana na terenie zurbanizowanym, np. w estakadzie na wysokich podporach, może być uciążliwa dla otoczenia.

## Most kratownicowy z torem ułożym na podsypce

Ostatnim z analizowanych obiektów jest most kratownicowy typu „W” o rozpiętości przęsła równej 49 m, z

pomostem w postaci płyty ortotropowej wzmocnionej poprzecznicami i z torem ułożonym na podsypce (rys. 4). Kratownice mają elementy przekroju skrzynkowym i zostały stężone wiatrownicami. W czasie badań obiekt był w dobrym stanie technicznym.

Wyniki pomiarów poziomu dźwięku zestawiono w tab. 4.

Poziom hałasu obok mostu niewiele różni się od hałasu obok toru poza mostem – maksymalny zarejestrowany wzrost poziomu dźwięku to 3 dB. Pod obiektem hałas był większy o 3.5 do 10 dB od hałasu obok toru. Wzrost wystąpił głównie w zakresie niskich częstotliwości (do 500 Hz) i był spowodowany drganiami stalowej płyty pomostu [2]. Podobnie jak w przypadku mostów blachownicowych z podsypką, obiekty kratownicowe mogą stanowić zagrożenie dla środowiska wówczas, gdy będą usytuowane wysoko nad terenem, na obszarach zurbanizowanych. W tego typu konstrukcjach duże znaczenie ma zastosowanie odpowiedniej wibroizolacji [4].

## Podsumowanie i wnioski

Mosty stalowe wykonane wiele lat temu oraz te projektowane i budowane obecnie mogą stanowić zagrożenie dla środowiska. Mogą ułatwiać rozprzestrzenianie hałasu powstającego na styku kół i szyn albo samodzielnie emitować niepożądane dźwięki.

Chcąc projektować ciche mosty należy przede wszystkim stosować tor na podsypce, przy czym warto pamiętać, że nawet tego typu konstrukcje mogą emitować hałas. Jeśli częstotliwość wzbudzenia drgań będzie pokrywać się z częstotliwością drgań własnych elementów wielkopowierzchniowych konstrukcji mostu, może pojawić się niepożądana emisja dźwięków powietrznych. Ponieważ te dźwięki pojawiają się najczęściej pod konstrukcją, obiekty z torem ułożonym na podsypce mogą stanowić uciążliwość, jeśli będą usytuowane wysoko nad terenem, na obszarach zurbanizowanych. Poprawę właściwości akustycznych można uzyskać stosując podkładki lub maty wibroizolacyjne.

Obiekty z pomostami otwartymi należą do konstrukcji wokół których

hałas pojawia się głównie na skutek swobodnego rozprzestrzeniania się dźwięków powstających na styku kół z szynami oraz w wyniku drgań elementów wielkopowierzchniowych, np. środków blachownic. Tego typu obiekty nie powinny być stosowane na terenach zurbanizowanych. Jeśli występują, powinny być w miarę możliwości zastępowane innymi, o lepszych parametrach akustycznych. Częściową redukcję hałasu wokół tego typu mostów można uzyskać przez odizolowanie toru od konstrukcji nośnej wibroizolacją i zastosowanie poziomych ekranów pochłaniających dźwięki.

Jeżeli jest konieczne zastosowanie toru bezpośrednio zamocowanego do pomostu, emisję hałasu można ograniczyć odpowiednio zaprojektowaną wibroizolacją. Można też rozważyć wprowadzenie dodatkowych usztywnień w celu zmiany częstotliwości drgań własnych elementów wielkopowierzchniowych. W niektórych przypadkach warto przeanalizować możliwość zwiększenia masy pomostu lub pokrycia elementów emitujących hałas warstwą materiału, zapewniającą dodatkowe tłumienie.

Analiza mostów kolejowych pod kątem emisji hałasu powinna być elementem procesu przygotowania i projektowania inwestycji. Zalecenie dotyczy nie tylko nowo budowanych obiektów ale także obiektów przebudowywanych i modernizowanych. Wymagania dotyczące emisji hałasu powinny być określone przez inwestora. Jeżeli takich wymagań inwestor nie zdefiniuje, to mając na uwadze m.in. zwiększenie liczby i prędkości przejazdów, przebudowa lub modernizacja linii kolejowej nie poprawi klimatu akustycznego ale może nawet zwiększyć jej uciążliwość dla środowiska. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Janas L. Badania wibroakustyczne mostu blachownicowego. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2015, nr 2(106), s. 47-60.
- [2] Janas L. Mosty kolejowe jako źródła hałasu – wybrane przykłady, Ze-

szyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2016, nr 2(109), s. 69-77.

- [3] Janas L., Łakota W.: Analiza możliwości ograniczenia hałasu w otoczeniu wiaduktu i linii kolejowej. Drogi i Mosty, nr 2/2005, s. 71-90.
- [4] Kraśkiewicz C., Lipko C., Oleksiewicz W., Zbiciak A.: Parametry charakteryzujące wibroizolacyjne maty podtłuczniowe stosowane w konstrukcji dróg szynowych i metody ich badania, Przegląd komunikacyjny, nr 9/2015, s. 76-82.
- [5] Li X., Liu Q., Pei S., Song L., Zhang X.: Structure-borne noise of railway composite bridge: Numerical simulation and experimental validation. Journal of Sound and Vibration 353 (2015), pp. 378-394.
- [6] Li X., Yang D., Chen G., Li Y., Zhang X.: Review of recent progress in studies on noise emanating from rail transit bridges. Journal of Modern Transportation, 2016, Volume 24, Issue 4, pp. 237-250.
- [7] Li Z. G., Wu T. X.: Estimation of vibration power flow to and sound radiation from railway concrete viaduct due to vehicle/track interaction. Noise and Vibration Mitigation for Transport Systems. NNFM 118, 2012, pp. 175-183.
- [8] Liu Q., Li X., Zhang X., Zhang Z.: Structure-borne noise study of composite steel bridge on high-speed railway. Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamic, Eurodyn, Porto, Portugal, 2014, pp. 1189-1194.
- [9] PN-EN 1993-2:2010. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 2: Mosty stalowe. Warszawa PKN.
- [10] Stiebel D., Lölgen T., Gerbig C.: Innovative Measures for Reducing Noise Radiation from Steel Railway Bridges. Proceedings of the 11th International Workshop on Railway Noise, Uddevalla, Sweden, 9-13 September 2013, pp. 579-586.
- [11] UIC 717R. Recommendations for the design of bridges to satisfy track requirements and reduce noise emissions. 2nd edition, 2010.